

ANALISE DA COMPACTAÇÃO DO SOLO PARA IMPLANTAÇÃO DE LAGOA DE REJEITO NO OESTE DO PARÁ

FERNANDO AUGUSTO FERREIRA DO VALLE^{1*}, MARLYSON JOSÉ SILVERA BORGES², KELVIN ADRIANO PEREIRA PONTES³, JOÃO MATHEUS DOS REIS VAGETE⁴;

¹Professor Engenheiro Civil M.Sc, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, fafvalle@hotmail.com;

²Pós-graduando de Engenharia Elétrica, UCAM, Santarém-PA, silveira-borges@hotmail.com;

³Pos-graduando Proj. exec. e desemp. de estruturas, IPOG, Santarém-PA, kelvin.adriano@hotmail.com;

⁴Acadêmico de engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, joaomatheus_vagete@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Este trabalho objetivou identificar os parâmetros determinados através de ensaios de compactação na área onde será implantado uma lagoa de rejeitos no oeste do estado do Pará. A Metodologia utilizou como base a NBR 7182/86 – Solos – Ensaio de compactação, com energia equivalente ao proctor normal para análise das amostras do estudo. Os resultados demonstram que o material apresenta homogeneidade quanto a sua umidade ótima (h_{ot}) devido ao seu baixo coeficiente de variação, a h_{ot} apresenta resultado com percentuais acima de 12,46%, e sua massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{dm\acute{a}x}$), apresentou características heterogêneas, pois seu coeficiente de variação apresenta tendência elevada, a $\gamma_{dm\acute{a}x}$ apresenta resultado acima de 16,7 g/cm³. Portanto, devido a esta variação em função de sua $\gamma_{dm\acute{a}x}$ e necessário reforço em alguns locais de extração da amostra.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, umidade ótima, massa específica, reforço.

ANALYSIS OF COMPACTION OF SOIL FOR IMPLANTATION OF REJECT LAGOON IN WEST OF PARÁ

ABSTRACT: The objective of this work was to identify the parameters determined by compaction tests in the area where a waste pond will be implanted in the western part of the state of Pará. The methodology was based on NBR 7182/86 - Solos - Compaction test, with energy equivalent to the proctor Normal for analysis of the study samples. The results show that the material presents homogeneity in terms of its optimal moisture (h_{ot}) due to its low coefficient of variation, the h_{ot} presents results with percentages above 12.46%, and its specific dry mass maximum mass (γ_{dmax}), presented characteristics Heterogeneous, since its coefficient of variation presents a high tendency, the γ_{dmax} presents a result above 16.7 g / cm³. Therefore, due to this variation in function of its γ_{dmax} and necessary reinforcement at some sample extraction sites.

KEY WORDS: Compaction, optimum moisture, specific mass, reinforcement.

INTRODUÇÃO

Os acidentes em barragens de contenção de rejeitos ocorridos, principalmente, nos últimos anos evidenciaram com maior ênfase, a necessidade de investigações geotécnicas precisas e eficazes, na área de implantação destas, em que se envolvem ensaios de campo e de laboratório. Para determinação das características físicas e mecânicas do solo bem como seu comportamento mediante determinadas solicitações. Em alguns casos a falta de compromisso de empresas em cumprir, procedimentos adequados para análises de parâmetros geotécnicos, pode ocasionar grandes catástrofes, exemplo recente disto foi o colapso da barragem de Fundão em Mariana (MG) em que foram liberados cerca de 60 milhões de metros cúbicos de lama, que destruiu distritos da cidade e escorreu ao longo dos quase 700 km entre o local da ruptura e a foz do rio Doce, no Estado do Espírito Santo, causando graves danos ambientais e sociais. Dentre alguns procedimentos de controles de qualidade, na execução de serviços

geotécnicos pode-se citar critérios que envolvem a compactação do solo, em que consiste em um procedimento que busca melhorar as propriedades mecânicas do solo, através de processos que podem ser manuais ou mecânicos, no estudo em questão o ensaio de compactação utilizado foi o de proctor normal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material necessário para os ensaios foi coletado na área de futura implantação de uma lagoa de rejeito. No local foi realizado um total de 10 (dez) ensaios do tipo SPT (Standart Penetration Test), estes foram referência para coleta das amostras deformadas, em que a determinação das distancias entre os ensaios de SPT, foram previamente demarcadas conforme projeto de implantação. Após as sondagens terem atendido os critérios de paralisação da NBR 6484/2001, as proximidades de cada furo foram coletadas as amostras deformadas, que após retirada e acondicionamento foram encaminhadas ao laboratório para caracterização geotécnica. Estas foram divididas e nomeadas inicialmente pela aproximação dos resultados do SPT, em que precedeu a caracterização tátil-visual do operador da sonda.

Ao total foram coletadas 10 amostras divididas com a nomenclatura de “COVAS” e subdivida com as letras A e B. Na característica tátil-visual foram descritos o tipo e coloração do solo, de acordo com a tabela 01 abaixo.

Tabela 01: Identificação e característica tátil-visual das amostras

Identificação	Característica tátil-visual
COVA 1 LETRA A	Silte arenoso com pedregulho de cor vermelha
COVA 1 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor vermelha
COVA 2 LETRA A	Argila arenosa com pedregulho de cor variegada
COVA 2 LETRA B	Silte arenoso de cor amarela
COVA 3 LETRA A	Argila silto arenosa de cor variegada
COVA 3 LETRA B	Argila silto arenosa de cor variegada
COVA 4 LETRA A	Silte arenoso de cor amarela
COVA 4 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor variegada
COVA 5 LETRA A	Argila arenosa com pedregulho de cor variegada
COVA 5 LETRA B	Silte arenoso com pedregulho de cor amarela

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Neste estudo foram realizadas análises físicas no laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário Luterano de Santarém/PA (CEULS/ULBRA). Com base nas amostras de solos coletadas foram executados os ensaios de compactação (Proctor Normal) em cada uma das amostras, para a determinação da umidade ótima (%) e a massa específica aparente seca máxima (kN/m^3), juntamente com a média, desvio padrão, a variação da média com ou sem o desvio padrão, e o coeficiente de variação. Os parâmetros de compactação (h_{ot} e $\gamma_{d_{máx}}$) foram determinados por meio das curvas traçadas manualmente (de acordo NBR 7182/86). Os dados coletados nos ensaios foram tratados e apresentados de forma estatística, determinado assim o seu desvio padrão, media admissível e coeficiente de variação para melhor discernimento e análise dos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de compactação das dez amostras de solo são apresentados na Tabela 02. Analisando os resultados verifica-se que os teores de umidade variaram da ordem de 16,7% a 42,7% e as massas específicas aparentes do solo variaram de $12,46kN/m^3$ a $16,53kN/m^3$. Foi observado que com o aumento da umidade, a massa específica aparente do solo cresce gradativamente até um determinado ponto, denominada “massa específica aparente seca máxima” ($\gamma_{d_{máx}}$) e a seguir começa a diminuir, formando uma parábola com cavidade para baixo, como mostra a Figura 01. Vale salientar que o pico pronunciado nas curvas e a grande influência da umidade no aumento do γ_d , são características intrínsecas dos solos finos.

Tabela 02: Relação das amostras com umidade ótima e massa espec. apar. seca máxima

Amostra	Umidade ótima (%)	Massa espec. apar. Seca máxima (kN/m ³)
Cova 1A	26,5	15,07
Cova 1B	27,0	14,78
Cova 2A	30,0	14,20
Cova 2B	16,7	16,45
Cova 3A	40,2	13,53
Cova 3B	28,4	15,33
Cova 4A	25,2	16,53
Cova 4B	41,0	12,56
Cova 5A	42,7	12,59
Cova 5B	42,2	12,46
Média	31,99	14,35
Desvio Padrão	8,94	1,46
Média + desv. padrão	40,94	15,81
Média – desv. padrão	23,05	12,89
Coef. de variação	27,95	10,20

Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

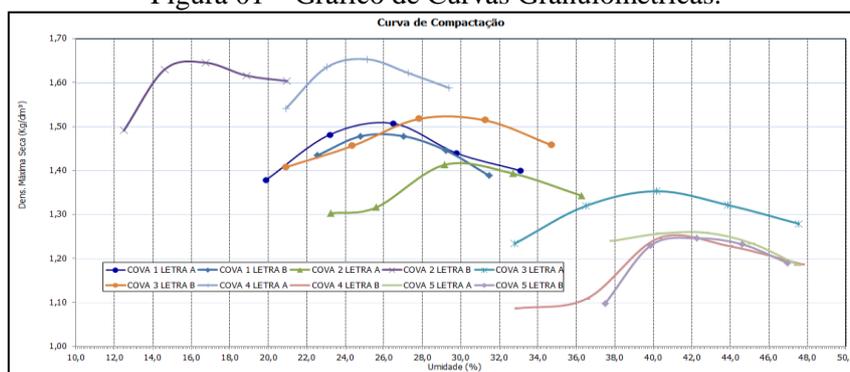
Depois da aplicação do tratamento estatístico nas amostras foi determinado a média, desvio padrão e coeficiente de variação, a massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{máx}}$) apresentou média de 31,99%, desvio padrão de 8,94% e coeficiente de variação de 27,95%. Por sua vez a umidade ótima (h_{ot}) apresentou média de 14,35%, desvio padrão de 1,46% e coeficiente de variação de 10,20%.

Através da média e do desvio padrão é possível determinar quais amostras apresentam similaridades para execução do projeto da lagoa de rejeitos, sendo assim podendo adotar a média como valor único para projetos, entretanto algumas amostras apresentaram valores fora dos limites determinado na tabela 02. Os resultados de $\gamma_{d_{máx}}$ que se mantiveram fora dos intervalos foram as amostras COVA: 2B, 4B, 5A e 5B e os valores de h_{ot} que apresentaram valores fora dos intervalos foram as amostras COVA: 2B, 4A, 4B, 5A e 5B.

Os valores que não permaneceram nos intervalos indicados na tabela 02, com exceção da amostra COVA 4A, foram os mesmos que possibilitaram a setorização destes para tratamento diferenciado dos que serão aplicados aos demais na área de coleta das amostras.

Destaque-se que os valores da umidade ótima (h_{ot}) e da massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{máx}}$) dos solos, não foram determinados a partir das curvas de compactação plotadas na figura 01, estes parâmetros foram determinados a partir das especificações da NBR 7182/86, em que se traçando duas tangentes sobre os pontos do ramo seco e do ramo úmido da compactação, através da interpolação destes da melhor forma possível. Pela intersecção das duas tangentes projetou-se uma curva suave, de modo a unir estas linhas. Conseqüentemente, os resultados obtidos na determinação dos parâmetros de compactação (h_{ot} e $\gamma_{d_{máx}}$), apresentam uma pequena discrepância dos valores que podem ser observados nas curvas da figura 01, em função destas serem traçadas pelo software Excel, através de um ajuste polinomial, de qualquer forma tais resultados estão dentro de um desvio aceitável para parâmetros de análises geotécnicas.

Figura 01 – Gráfico de Curvas Granulométricas.



Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

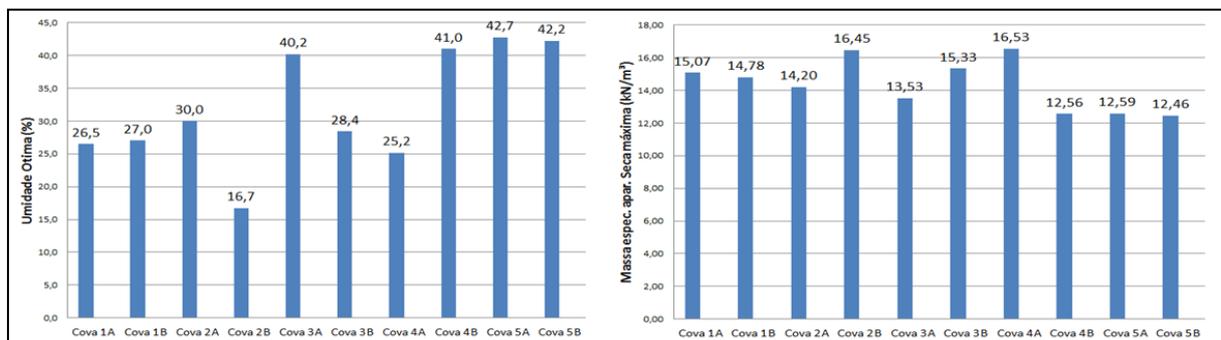
Após traçado o gráfico com base na tabela 02 é possível observar certa similaridade em algumas amostras como as COVAS: 2B e 4A, que apresentam a $\gamma_{d_{\text{máx}}}$ acima de $1,6\text{g/cm}^3$ e uma umidade ótima acima de 15%. As amostras COVAS: 3B, 1A, 1B e 2A, também apresentaram similaridade o que facilitaria na setorização, pois as amostras, com exceção da 3B, são próximas assim podendo adotar valores dentro das variações do desvio padrão apresentado na tabela 02.

Entretanto, as amostras COVAS: 3A, 4B, 5A e 5B apresentaram uma alta umidade ótima e uma baixa densidade devendo assim analisar a possibilidade de reforço nesse material pois este não evidencia curvas bem definidas, ou seja, não apresenta características de um solo coeso.

É importante ressaltar que o coeficiente de variação da umidade ótima (h_{ot}) está abaixo de 15% sendo assim tornando o material homogêneo quanto a sua umidade ótima, entretanto quando analisado sua massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{\text{máx}}}$) o coeficiente se manteve acima de 30% e assim apresentando características de material heterogêneo.

Contudo é possível observar que dependendo da proximidade das amostras, estas apresentam resultados similares, visualizadas nos gráficos da figura 02.

Figura 02: Gráfico de umidade ótima das amostras e massa específica aparente seca máxima



Fonte: Silveira e Pereira, 2017.

Através dos gráficos na figura 02 é possível observar que a umidade ótima é inversamente proporcional à massa específica aparente, pois na medida em que aumenta a h_{ot} dos solos, diminui o valor de suas $\gamma_{d_{\text{máx}}}$.

CONCLUSÕES

A compactação aplicada nos solos para a área de implantação da lagoa de rejeitos apresentou características heterogêneas quanto sua massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{\text{máx}}}$) e características homogêneas quanto sua umidade ótima (h_{ot}). Algumas amostras estudadas apresentaram curvas bem definidas de compactação, tendo assim características de solos coesos, entretanto, outras amostras não tiveram curvas com estas características, tal fato foi evidenciado em função de crescimento na umidade ótima e conseqüentemente baixa densidade, indicando uma certa divergência entre elas.

Contudo devido à variação existente em alguns pontos na massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{\text{máx}}}$), a implantação da lagoa necessitará na provável setorização de algumas áreas analisadas, tendo em vista, os resultados obtidos em que percebe-se a existência de uma certa heterogeneidade, além de que em alguns pontos foi verificado uma baixa massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{d_{\text{máx}}}$), sendo um indicativo para possível reforço no solo, seja através de adições de cimento ou cal hidratada, tendo em vista a capacidade de suporte destas camadas serem reduzidas em comparação as outras.

Portanto, é perceptível para a engenharia geotécnica a implantação rigorosa de procedimentos de controles de qualidade, na execução de serviços geotécnicos em que a determinação específica de critérios que envolvem a compactação do solo, objetivando melhorar as propriedades mecânicas deste, através de processos que podem ser manuais ou mecânicos, atendendo a quesitos de segurança e estabilidade das obras de um modo geral.

REFERÊNCIAS

- NBR 7182/86: Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- Ortigão, J.A.R. Introdução À Mecânica Dos Solos Dos Estados Críticos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro RJ: Terratek. 3ed. 2007, 153p.
- Pinto, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. São Paulo: Oficina de Textos. 2ed. 2002. 132p.
- Renedo, V.S.G . Dinámica y mecánica de suelos. Madrid. Ediciones Agrotécnicas, S.L. 1996
- Rodrigues, R.A.; LOLLO, J.A. Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils. Bulletin for Engineering Geology and the Environment, IAEG, v. 66. 2007.
- Salgado, F. A., Análise Macro-mecânica do Comportamento da Terra como Revestimento Externo, com ou sem Reforço de Fibras Vegetais PUC-Rio, 2010. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)
- Schnaid, F., “Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações”, Editora Oficina de Textos. São Paulo. 1ed. 2000, 54p.
- Terzaghi, K. & Peck, R. BB. “Soil mechanics in engineering practice”. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons. 2nd ed. 1948, 93p.
- Tsutsumi, Mitsuo. TRN018 - Mecânica dos Solos I. Net. Juiz de Fora. 1ed. 2008, 52p.
- Victorino, M. M. (2007), “Barragem de Rejeito: Caracterização de Parâmetros Geotécnicos Visando Análises de Estabilidade – Um Estudo de Caso”, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Paraná. 2007, 78f.